

⑫ 公開特許公報(A)

昭62-256917

⑪ Int. Cl.⁴C 21 D 8/12
C 22 C 38/00
38/08
H 02 K 1/02

識別記号

3 0 3

庁内整理番号

A-8417-4K
U-7147-4K

⑬ 公開 昭和62年(1987)11月9日

6574-5H 審査請求 未請求 発明の数 2 (全6頁)

⑭ 発明の名称 回転機用高抗張力無方向性電磁鋼板およびその製造方法

⑮ 特 願 昭61-98901

⑯ 出 願 昭61(1986)4月28日

⑰ 発 明 者 坂 井 田 晃 北九州市八幡東区枝光1-1-1 新日本製鐵株式會社第3技術研究所内

⑱ 発 明 者 立 野 一 郎 北九州市八幡東区枝光1-1-1 新日本製鐵株式會社第3技術研究所内

⑲ 発 明 者 西 田 新 一 北九州市八幡東区枝光1-1-1 新日本製鐵株式會社八幡製鐵所内

⑳ 出 願 人 新日本製鐵株式會社 東京都千代田区大手町2丁目6番3号

㉑ 代 理 人 弁理士 大関 和夫

明 細 書

1. 発明の名称

回転機用高抗張力無方向性電磁鋼板および
その製造方法

2. 特許請求の範囲

1. 重量%で、Si: 2.0%以上、3.5%未満、
C: 0.008%以下、P: 0.03%以上、0.2%
未満を含み、かつMn、Niのうち1種または2
種を重量%で、 $0.3\% \leq Mn + Ni < 10\%$ の範
囲で含有し、残部Feおよび不可避不純物元素よ
りなる、抗張力TS: 65 kg/mm^2 以上で、かつ
高周波鉄損 $W_{50/1000}$: 50 W/kg 以下、磁束密度
 B_{50} : 1.65 T以上の優れた機械特性および磁気
特性を有する回転機用高抗張力無方向性電磁鋼板。

2. 重量%で、Si: 2.0%以上、3.5%未満、
C: 0.008%以下、P: 0.03%以上、0.2%
未満を含み、かつMn、Niのうち1種または2
種を重量%で、 $0.3\% \leq Mn + Ni < 10\%$ の範
囲で含有し、残部Feおよび不可避不純物元素よ
りなる鋼を、連続铸造あるいは鋼塊一分塊圧延に

よってスラブとし、次いで熱間圧延して、無焼鈍
のままあるいは焼鈍した後、酸洗し、冷間圧延を
して最終板厚となした後、 650°C 以上、 850°C
未満の温度範囲で低温再結晶させることを特徴
とする、抗張力TS: 65 kg/mm^2 以上で、かつ
高周波鉄損 $W_{50/1000}$: 50 W/kg 以下、磁束密度
 B_{50} : 1.65 T以上の優れた機械特性および磁気
特性を有する回転機用高抗張力無方向性電磁鋼板
の製造方法。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、回転機の回転部に鉄心として用いら
れる電磁鋼板、特に回転時の応力あるいは加減速
時の繰返し応力に耐え得る優れた機械特性と磁気
特性、即ち鉄損、磁束密度を劣化させることなく
具備した高抗張力無方向性電磁鋼板に関するもの
である。

(従来の技術)

近年、エレクトロニクスの発達により回転機の
駆動システムの機能が高度化し、さまざまな回転

駆動制御が可能となってきた。即ち、駆動電源の周波数を制御することにより、可変速運転、高周波数以上での高速運転を可能とした回転機が増加してきた。一方、メカトロニクスの発展により、回転機の高速化の要求が高まり、さらに従来、高速回転機は比較的小容量に限られていたが、この傾向は中・大型の回転機分野にも広がりつつある。

このような高速回転機を実現するには、高速回転に耐え得る構造の回転子とする必要がある。一般に、回転する物体に作用する遠心力は回転半径に比例し、回転速度の2乗に比例して大きくなるので、中・大型の高速回転機ではその回転子に作用する力が 60 kg/mm^2 を超える場合がある。また、超大型の回転機の場合、回転数が比較的低くても回転子の直径が大きいために、結果的に 60 kg/mm^2 以上の応力が作用する場合があり、回転子には高抗張力の素材が必要となる。さらに、可変速運転が必要な回転機では加減速が頻繁に行なわれるため、素材として単に抗張力が高いだけでなく、繰返し応力に対して疲労破壊する限度応力

(疲労限)の高い素材でなければならない。

通常、回転機の回転子には積層した無方向性電磁鋼板が使われるが、前記のような回転機では所要の機械強度を満足できない場合があり、その際には中実の鋳鋼製の回転子などが採用されている。しかし、回転機の回転子は電磁気現象を利用するものであるから、その素材としては前述の機械特性と同時に磁気特性が優れていることが要求される。

回転子用の鉄心素材に要求される磁気特性のうち、特に重要であるのは鉄損と磁束密度である。回転子に発生する鉄損の主たるものは、回転子鉄心表面に生じるリップル損と呼ばれる高周波磁束による損失で、その周波数 f_r は次式のように表わされる。

$$f_r = 2 \cdot f_o \cdot M / P$$

ここに f_o : 駆動電源の周波数

M : 固定子鉄心の歯数(ティース数)

P : 回転機の磁極数

一例として、駆動電源の周波数を商用周波数の

2倍程度とした2極回転機の場合を考えると、そのリップル磁束の周波数は $1 \sim 10 \text{ kHz}$ の範囲となる。

従って、このような回転子用鉄心素材としては上記の周波数領域における鉄損が小さいものが望ましい。しかし、前述の中実鋳鋼の回転子は一体ものであるために、高周波領域では渦電流損失が非常に大きくなって、電磁鋼板を積層してなる回転子を用いた場合に比べ、回転機としての効率が数%低いと言われている。

もう一つの重要な磁気特性は励磁特性である。回転子鉄心素材の磁束密度が低いと、所要のトルクを発生させるために必要な磁束を回転子に流すために、励磁アンペアターンを大きくしなければならない。これは励磁コイルでの銅損の増加につながるため、回転機の総合的な効率の低下を招く。即ち、中実鋳鋼製の回転子から、機械特性および鉄損ともに優れた素材を積層した回転子に置き換えれば、鉄損は確実に減少するが、その素材の磁束密度が低いと銅損が増加し、場合によっては鉄

損の減少分が相殺されて、効率が向上しないこともありうる。

このように、かかる回転機の回転子鉄心素材としては、機械的には高い抗張力と疲労強度を有し、かつ磁気的には高周波数における鉄損が低く、磁束密度が高いことを同時に満足するものでなければならない。

鋼板の機械強度を高める手段として、冷延鋼板の分野で一般的に用いられる方法には、固溶硬化、析出硬化、細粒化による硬化、変態組織による硬化などがあるが、一般に、高い機械強度と低鉄損・高磁束密度という優れた磁気特性とは相反する関係にあり、これらを同時に満足させるのは困難であった。

公知の技術として、例えば特開昭60-238421号公報記載の方法のようにSi含有量を $3.5 \sim 7.0\%$ と高め、これに固溶硬化の大きい元素を添加し、抗張力を高める方法が提案されているが、この方法ではSi含有量に依存している割合が高いために、熱延板から最終冷延厚みに圧延するに際して

100～600℃の温間圧延が必要という欠点があった。さらに、この技術によって得られる鋼板の磁束密度 B_{50} は1.56～1.61Tと極めて低いという大きな問題があった。

また特開昭61-9520号公報では、Si含有量を高め、これに固溶硬化の大きい元素を添加した溶鋼を急冷凝固法により鋼帯とし、これを冷間あるいは温間圧延し、さらに焼鈍を施して、抗張力が高く、鉄損の低い高抗張力無方向性電磁鋼板を製造する方法が提案されている。この技術によれば、Si含有量を高めても急冷凝固法であるため、従来の圧延による製造法のように材料の脆化による制約は緩和される。しかし、前出の技術と同様、例えば 70 kg/mm^2 以上の高抗張力を得るためには、Si含有量を4～4.5%と高めねばならず、磁束密度 B_{50} は非常に低くなるという問題があった。

一方、特開昭55-65349号公報などに提案されているように、センダスト系の、硬度が非常に高く、透磁率の高い磁性材料を製造する技術

があるが、これらの材料は主に磁気ヘッドあるいは小型の高周波トランスなどの静止器用である。

本発明が対象としている回転機の回転子鉄心は、通常、打ち抜きにより加工され、積層結束される。そして実際の回転機の運転状態では回転・停止・加減速による繰返し応力を受ける。従って、かかる回転子用鉄心材料としては、打ち抜き加工で割れなどが発生することなく、かつ繰返し応力に対する破壊強度の高いものでなければならない。センダスト系の材料は機械的に高強度で耐摩耗性に優れているが、反面、非常に脆いため、上記の観点から回転機用には使用できなかった。

(発明が解決しようとする問題点)

本発明の目的は、急冷凝固法などによらず、従来の圧延技術で工業的規模の製造が可能な機械特性ならびに磁気特性の優れた回転機用高抗張力無方向性電磁鋼板およびその製造方法を提供しようとするものである。

(問題点を解決するための手段)

本発明の要旨とするところは、重量%で、Si:

2.0%以上、3.5%未満、C: 0.008%以下、P: 0.03%以上、0.2%未満を含み、かつMn、Niのうち1種または2種を重量%で、 $0.3\% \leq \text{Mn} + \text{Ni} < 10\%$ の範囲で含有し、残部Feおよび不可避不純物元素よりなる、抗張力 $TS: 65\text{ kg/mm}^2$ 以上で、かつ高周波鉄損 $W_{50,1000}: 50\text{ W/kg}$ 以下、磁束密度 $B_{50}: 1.65\text{ T}$ 以上の優れた機械特性および磁気特性を有する回転機用高抗張力無方向性電磁鋼板にある。

他の要旨は、前記の成分を有する鋼を連続鋳造あるいは鋼塊一分塊圧延によってスラブとし、次いで熱間圧延して、無焼鈍のままあるいは焼鈍した後、酸洗し、冷間圧延をして最終板厚となした後、650℃以上、850℃未満の温度範囲で低温再結晶させるところにある。

以下にこの発明を詳細に説明する。

まず成分を上記の範囲に限定した理由について説明する。

Si: 2.0%以上、3.5%未満

Siは鋼の固有抵抗を増し、渦電流を減少させ

るので、鉄損減少に最も効果の大きい元素である。同時にSiは抗張力を高めるにも有効な元素であるが、添加量が2%未満ではその効果が小さい。一方、Siは前述のように鋼を脆化し、かつ製品の磁束密度を低下させる。従って、本発明では従来の圧延技術で工業的規模の製造が可能で、かつ高い磁束密度を確保するため、Si含有量を3.5%未満とする。

C: 0.008%以下

Cは鋼の強度を高めるが、一方、鉄損はC含有量に対して急激に悪化するため、0.008%以下に限定する。

P: 0.03%以上、0.2%未満

Pは抗張力を高める効果が非常に大きい元素であるが、0.03%未満ではほとんど効果がない。一方、Pは粒界に偏析し、鱗片・熱延板・冷延板を脆化させる。従って、工業的規模での連続鋳造・熱間圧延・冷間圧延を可能とするために、0.2%未満とする。

Mn、Ni: $0.3\% \leq \text{Mn} + \text{Ni} < 10\%$

Mn、Niはともに磁気特性に与える悪影響が比較的小さく、かつ固溶硬化による抗張力向上の効果が大きい。Mnは抗張力を高めると同時に、鋼の固有抵抗を高めるので、高周波数での鉄損にも有利であるが、単独に添加した場合、0.3%未満では効果が乏しい。一方、Mnの添加により製品の磁束密度は直線的に低下するため、単独添加の場合、10%未満とした。

Niは磁気特性への悪影響が小さく、かつ抗張力向上に有効な元素であるが、単独に添加した場合、0.3%未満では効果が乏しい。一方、Mnと同様、添加量が多くなると磁束密度が低下するため、単独での添加の場合、10%未満とした。

MnとNiの添加量を合計量で規定したのは、両元素の抗張力におよぼす効果と磁束密度に与える悪影響がほぼ同じであるため、合計添加量で添加効果が明確となる0.3%以上から磁束密度 B_{50} が1.65 T以上確保できる範囲として10%未満とした。

以上のような成分元素は、一般に鋼を脆化させ

るため、これを緩和する目的で、結晶粒界を強化するBを適当量、例えば0.005%程度添加してもよい。また、磁気特性、特に鉄損をさらに向上させるため、Alを経済的な範囲で、例えば1%未満添加してもよい。

上記の成分以外は鉄および不可避不純物元素である。

(作 用)

次に本発明の製造方法について説明する。

上記の適性範囲の成分からなる鋼は、転炉あるいは電気炉など公知の方法で溶製され、連続製造あるいは鋼塊に鑄造した後、分塊圧延によりスラブとされる。次いでこのスラブを公知の方法で加熱炉にて加熱あるいはホット・チャージし、あるいは分塊圧延後、直送して熱間圧延し、例えば1.5～5 mmの板厚とする。この熱延板を無焼鈍のまま、あるいはノルマライジングのために例えば900℃で2分間焼鈍した後、酸洗する。次いで1回または途中に熱処理を含んで2回の公知の方法で冷間圧延し、最終板厚、例えば0.30～0.80

mmとする。

しかる後、650℃以上、850℃未満の温度範囲で低温再結晶焼鈍を行う。ここで焼鈍温度を上記の範囲に限定したのは、650℃以下では所要の磁気特性が得られず、また焼鈍後、鋼帯が平坦とならないためである。一方、焼鈍温度が850℃以上であると、結晶粒成長が急激に進行して機械特性が劣化するので、安定して所要の機械特性と磁気特性を同時に得るため上記の温度範囲とする。

(実施例)

(1) 実施例 1

表1に示す成分組成の各鋼を鋼塊に鑄造し、1,100℃に加熱して分塊圧延し、スラブとした。次いで、1,150℃に加熱してから熱間圧延を施して板厚を2.0 mmとした後、酸洗し、しかる後に冷間圧延により最終板厚を0.5 mmとした。続いて、この冷延鋼帯を水素ガス10%を含む保護雰囲気下で825℃で1分間焼鈍した。得られた各鋼帯の抗張力と鉄損 W_{1000} 、磁束密度 B_{50} を調査し、

その結果を同じく表1に示した。比較のため、従来の方法で得られた鋼帯の各特性値を併記した。

表 1

	成分	(重量%)						抗張力 (kg/mm^2)	磁気特性	
		C	Si	P	Mn	Ni	B		$W_{5/1000}$ (H/kg)	B_{50} (T)
比較例(1)		0.005	2.0	0.05	0.1			46	46	1.71
" (2)		0.011	2.9	0.02	0.2			59	54	1.69
" (3)		0.004	3.1	0.02	0.2			58	22	1.68
" (4)		0.006	4.5	0.02	0.1	2.5		74	17	1.60
本発明(1)		0.003	2.1	0.19	0.5		0.006	66	43	1.69
" (2)		0.005	3.0	0.05	3.1			70	40	1.66
" (3)		0.002	3.4	0.15	1.5	1.8		79	44	1.65
" (4)		0.003	2.1	0.18	0.5			67	41	1.68

(2) 実施例 2

表 2 に示す成分組成の各鋼を連続鑄造してスラブとなし、1,200℃に加熱してから熱間圧延を施して板厚 2.8 mm の熱延板を得た。この熱延板を 920℃で 1 分間焼鈍した後、酸洗し、次いで冷間圧延して最終板厚を 0.7 mm とした。この冷延鋼帯を 725℃で 20 秒間焼鈍した。得られた各鋼帯の抗張力と鉄損 $W_{5/1000}$ 、磁束密度 B_{50} を同じく表 2 に示した。

表 2

	成分	(重量%)						抗張力 (kg/mm^2)	磁気特性	
		C	Si	P	Mn	Ni	B		$W_{5/1000}$ (H/kg)	B_{50} (T)
比較例(1)		0.004	3.3	0.02	0.1			53	31	1.69
" (2)		0.007	2.1	0.15	0.1			63	57	1.70
本発明(1)		0.005	3.0	0.11	1.5	2.0	0.0045	69	48	1.67
" (2)		0.004	3.3	0.15	0.1	3.5	0.003	68	45	1.68
" (3)		0.002	3.0	0.04	0.1	4.5		65	39	1.68
" (4)		0.004	2.3	0.17	0.1	3.0		66	47	1.67

(3) 実施例 3

表 3 に示す成分組成の各鋼を連続鑄造して得られたスラブを、そのまま直送して熱間圧延を施して板厚 2.8 mm の熱延板とした。この熱延板を焼鈍せずに酸洗のみを行い、次いで冷間圧延して最終板厚を 0.5 mm とした。この冷延鋼帯を 700℃で 30 秒間焼鈍した。得られた各鋼帯の抗張力と鉄損 $W_{5/1000}$ 、磁束密度 B_{50} を同じく表 3 に示した。

表 3

	成 分 (重量%)							抗 張 力 (kg/mm ²)	磁 気 特 性	
	C	Si	P	Mn	Ni	B	Al		W _{5/1000} (H/kg)	B ₅₀ (T)
比較例(1) *	0.108	0.5	0.01	2.0				100	210	1.51
" (2)	0.003	3.1	0.03	0.2				59	36	1.68
本発明(1)	0.003	2.5	0.16	0.3	2.1	0.007		69	38	1.66
" (2)	0.005	2.2	0.12	0.9	5.0		0.6	71	44	1.68
" (3)	0.004	3.4	0.19	2.1	2.1	0.002		82	48	1.65
" (4)	0.002	2.9	0.09	1.5	3.0			75	40	1.66
" (5)	0.005	2.2	0.12	0.9	5.0			70	47	1.69

(* ; 表中の成分の他にTiを0.11重量%含む)

(発明の効果)

以上のように、本発明により、高い抗張力を有し、かつ鉄損が低く、磁束密度が高いことを同時に併せ持つ高抗張力無方向性電磁鋼板が得られ、回転機の中・大型化、高速化による高効率化に伴い、その回転子用鉄心材料として用いられる高抗張力無方向性電磁鋼板に対する要請に十分応えることができ、その工業的効果は非常に大きい。

特許出願人 新日本製鐵株式会社

代理人 大 関 和 夫

